第40卷 第9期
2023年9月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 40 No. 9
Sep. 2023

阿克苏河流域生态网络构建

孙茂森[1]， 王让会[1]， 宁虎森[2]

（1. 南京信息工程大学应用气象学院，江苏 南京 210044；2. 新疆林科院造林治沙研究所，新疆 乌鲁木齐 830063）

摘 要：阿克苏河流域位于西北干旱区，具有十分典型的绿洲-荒漠格局。构建流域生态网络，对于筑建"一带一路"沿线地区生态屏障具有重要意义。以阿克苏河流域5县市为对象，基于生态源地和阻力面提取流域生态廊道，对比分析1980—2020年流域生态网络变化，根据生态"夹点"和障碍点优化2020年流域生态网络。研究发现：(1)研究期间流域生态源地面积上升6%，空间上存在一定程度的破碎化问题。(2) 流域阻力值总体上小幅度上升，在经济较为发达的地区出现以城镇为中心的高阻力值区。(3) 研究期间增加6条新的生态廊道，生态网络相较之前更加密集。(4) 2020年流域生态网络包含12处夹点和7处障碍点，针对土地覆被类型提出相应的改进措施。研究可为干旱区生态网络修复、关键区域识别和区域绿色发展提供启示。

关键词：生态网络；生态源地；生态廊道；阿克苏河流域

河流生态系统为区域环境提供气候调节、水源供给和环境改善等多种生态服务功能[1]。随着全球气候变暖成为热点问题，西北干旱区水资源匮乏、土地贫瘠、生境脆弱，对气候变化和人类活动的响应更为敏感[2-3]。阿克苏河流域属于"一带一路"沿线地区，研究流域生态网络，被认为是解决区域生境斑块破碎化的有效办法，同时对推进"一带一路"倡议的实施建设发挥着重要的作用[4]。上世纪80年代阿克苏河道两岸自然植被退化，存在荒漠化等一系列生态问题。自1986年起，阿克苏地区实施了多个生态治理工程，生态环境有所好转，局部气候得到了改善。研究区域生态网络的构建对于干旱区发展及其环境保护具有重要意义。

生态安全网络研究的目的是将区域碎片化的斑块有效的连接起来，形成较为完整的景观，改善区域生态系统[5-6]。构建生态网络可对区域环境保护措施进行合理优化，解决城市可持续发展问题[7]。目前已经形成了"生态源识别-阻力面构建-生态廊道提取"的基本研究范式[8]。生态安全网络构建已经广泛应用于国土规划、栖息地修复和生物多样性保护的研究中[9-11]。生态安全格局的研究尺度划分主要分为行政区和自然地理区，从景观连通性的角度进行分析，自然地理区的划分更易进行安全格局构建，但相应的生态治理和修复政策多是基于行政单元的划分进行实施，所以现阶段的研究多是基于行政区划开展[12]，自然要素为边界的地理单元的研究较少[13]。流域是自然地理的基本单元，也是生态保护和恢复的基本单位[14-15]，该尺度的生态安全网络构建有助于整合生态过程，布设生态修复项目[16]。研究方法上，生态源地识别主要基于形态学空间模式分析法，结合生态敏感性、生态系统服务价值和生态风险评估进行筛选[17]，与景观连通性指数结合可有效避免生态源地筛选的主观性[18]。生态阻力面的模拟主要采用生境质量评价和最小累计阻力模型进行模拟研究[19]。生态廊道的提取多采用最小阻力模型和电路理论，根据电流密度识别生态夹点和生态障碍点[20]。目前对于生态安全网络的研究多集中在网络构建的方法上，在网络优化方面的研究有待进一步深化。

阿克苏河流域生态环境比较脆弱，在研究期间流域部分地区经历了高速发展，同时生态修复和治理工程也逐步开始实施。对比1980年、1990年、

收稿日期：2023-04-01； **修订日期**：2023-06-01
基金项目：山水林田湖草沙一体化保护和修复工程关键问题和关键技术研究(AKSSSXM2022620)
作者简介：孙茂森(1998-)，男，硕士研究生，主要从事生态安全评价. E-mail: 20211207002@nuist.edu.cn
通讯作者：王让会. E-mail: rhwang@nuist.edu.cn

2000年、2010年和2020年5个时期流域的生态源地、阻力面和生态廊道的变化，分析流域景观格局特征及其变化趋势。探究人类活动对流域景观格局和生态网络的影响，识别2020年流域生态“夹点”和障碍点，针对性提出保护和修复措施，为“双碳”背景下“一带一路”沿线城市的河流开发趋势，流域生态环境的保护，以及干旱区的绿色发展提供新的启示。

1 研究区概况与方法

1.1 研究区概况及数据来源

阿克苏河流域位于塔克拉玛干沙漠北缘，沙漠离阿克苏市城区仅有6 km，是新疆抗击土地荒漠化的最前沿。近30 a来流域开展了多个百万亩生态工程项目，有效的改善了局部地区生态环境和气候。结合地理空间的连通性，参考新疆阿克苏河流域管理处编写的《阿克苏河流域志》流域环境内容，选取乌什县、温宿县、阿克苏市、阿瓦提县和阿拉尔市5县市作为研究区(图1)。土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)的中国多时期土地利用遥感监测数据集(CN-LUCC)1980年、1990年、2000年、2010年和2020年5个时期30 m分辨率土地利用遥感监测数据[21]。高程数据来源于中国科学院地理空间数据云(https://www.gscloud.cn/)提供的SRTMDEM 90 m分辨率原始高程数据。

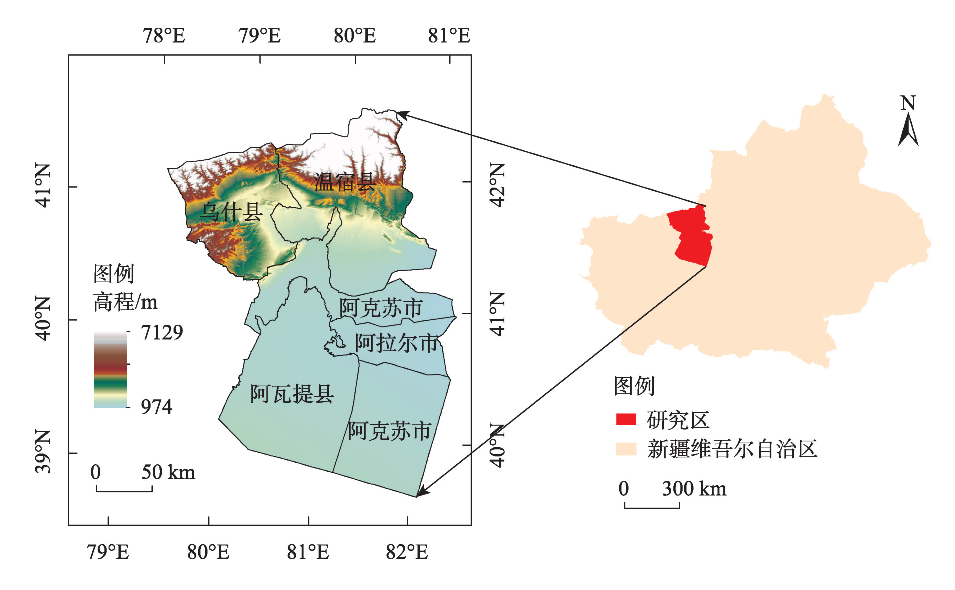
1.2 研究方法

1.2.1 生态源地筛选　形态学空间模式分析法(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)基于数学形态学原理对栅格像元分类，识别出在空间形态和连通性上具有重要作用的斑块和廊道，经过分析处理后分为互不重叠的景观类型，根据识别结果，在核心区的基础上，设定阈值筛选，获得重要生态源地[22]。将土地覆被类型中的林地、耕地和二级分类中的高覆盖草地、中覆盖草地、和除永久性冰川雪地外的水体作为前景，城乡工矿居民用地、未利用土地和二级分类中的永久性冰川雪地作为背景，利用GuidosToolbox软件得到不同景观类型[23]。

1.2.2 生态阻力面构建　利用最小累积阻力模型(Minimum Cumulative Resistance, MCR)计算生态流经过基面累积耗费的代价，寻找最小耗费距离，计算空间生物移动阻力。综合考虑研究区自然要素和人为要素，选取土地利用类型、距水体距离、距城镇距离、距农村居民点距离、距工业点距离、坡度和海拔7个因子，加权叠加获得阿克苏河流域生态综合阻力面。计算公式如下：

$$R_{MCR}=f_{\min}\sum_{j=n}^{i=m}\left(D_{ij}R_i\right) \quad (1)$$

式中：R_{MCR}为最小累积阻力值；f为阻力函数；min为j到i中最小阻力值；D_{ij}为生态源地j到斑块i的



注：底图采用自然资源部标准地图制作，审图号为GS(2022)4309号，对底图边界无修改。下同。

图1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of study area

距离；R_i 为斑块 i 的阻力系数。

1.2.3　生态安全网络分析　利用linkage Mapper对生态廊道进行提取,结合阻力面计算源地间最低的成本联系。不同的景观和城镇化会对动物的栖息产生影响,当动物前往其他源地时会面临不同的阻力因素,成本加权分析可以计算运动的累积阻力,得出成本最低的路径即生态廊道[24]。

$$G_{ij}=\frac{\left(N_iN_j\right)}{\left(D_{ij}\right)^2}=\frac{\left(\frac{1}{P_i}\ln S_i\right)\left(\frac{1}{P_j}\ln S_j\right)}{\left(\frac{L_{ab}}{L_{\max}}\right)^2}=\frac{L_{\max}{}^2\ln S_i\ln S_j}{L_{ij}^2P_iP_j} \tag{2}$$

式中：G_{ij} 为点 i 与 j 的相互作用力；N_i 和 N_j 为 i 和 j 两个斑块的权重值；D_{ij} 是从点 i 到 j 潜在廊道标准化累积阻力。L_{ij} 是点 i 到 j 潜在廊道的累积阻力值,$L_{\max}$ 是研究区最大累积阻力值。

基于电路理论运用Circuitscape软件的All-to-one模式计算生态廊道的电流密度[25]。在Circuitscape的建模中,生态“夹点”为高密度的电流区域,表征该区域的不可替代性,对此类区域应优先进行保护。生态障碍点是指生物在斑块运动受到阻碍的区域,对此类区域应结合土地利用类型和当地基础设施情况采取生态修复措施。

2　结果与分析

2.1　重要生态源地识别

比较分析5个时期阿克苏河流域生态源地变化情况(表1)可知。在1980—2020年,流域核心区面积占比上升5.99%,近乎翻了一番,重要生态源地数量增加3个,面积占比上升6.3%。上世纪80年代阿克苏河流域生态环境较差,流域最早开始的修复工程为1986年柯柯牙荒漠绿化防护林工程,此后阿克苏地区开展了多个百万亩的生态治理工程,包括阿克苏河流域生态治理工程、渭干河流域生态治理工程和空台里克百万亩荒漠绿化工程等。1980—1990年区域核心区和重要生态源地面积占比有小幅度波动,并未发生明显变化。1990—2000年是流域生态环境变化较快的十年,重要生态源地数量小幅度下降,但生态源地总体面积上升,并且源地破碎化情况有所改善,出现了相临的生态源地合并为一块生态源地的情况。2010和2020年生态源地数量和面积均逐步上升。流域生态环境逐步恢复,生态修复工程取得了显著的成果。

2.2　生态阻力面构建

结合流域自然地理特征,采用二级土地利用类型细化景观类型的阻力值,阿克苏河流域低覆盖草地面积较大,容易受人类活动和气候变化的影响发生退化,与中高覆盖草地类型差异较大,将其阻力等级设为2级。生长期农作物生产力和覆盖度均较高,将其阻力等级设为1级。研究区覆被类型以未利用土地为主,只是基于土地利用一级分类会造成研究结果的局限性与狭隘性,采用二级分类,针对地理特征将占比较大的未利用土地进行分级处理,将盐碱地和沼泽地阻力等级设为3级,其余未利用土地阻力等级设为4级。利用层次分析法确定阻力因子权重(表2)。

阿克苏河流域生态阻力呈现“河流-绿洲-耕地-荒漠”由高到低的4个梯度,区域差异明显(图2)。阻力高值区主要集中在温宿县北部高海拔地区和阿克苏市城乡工矿地附近,并在研究期间逐渐上升,主要原因在于冰川融化、工业发展和城镇扩张。流域开展的生态工程多以造林为主,结合流域水资源实际情况和地区可持续经营模式,采用防风林和经济林协调发展策略,在兼顾地区经济发展的同时,还有效的缓解了阻力值上升的情况。1980年在乌什县西南部有一块较小的低阻力值区域,自2000年起,该区域面积不断扩张,形成了具有体系

表1　阿克苏河流域生态源地和重要生态廊道变化

Tab. 1　Change of ecological source and important ecological corridors in Aksu River Basin

年份	核心区面积占比/%	重要生态源地数/个	重要生态源地面积占流域总面积比例/%	重要生态廊道/条
1980	6.48	7	2.76	9
1990	6.46	7	2.77	9
2000	9.27	6	5.37	7
2010	10.82	9	7.52	16
2020	12.47	10	9.06	17

表2 阻力值及权重

Tab. 2 Resistance value and weight

阻力因子	权重	阻力等级				
		1	2	3	4	5
土地利用类型	0.27	林地、耕地和中、高覆盖度草地	低覆盖度草地、水体	盐碱地、沼泽地	其他未利用土地	城乡、工矿、居民用地
距水体距离/km	0.13	≤0.1	(0.1,0.5]	(0.5,1.0]	(1.0,1.5]	>1.5
距城镇距离/km	0.15	>2.5	(2.0,2.5]	(1.5,2.0]	(1.0,1.5]	≤1.0
距农村居民点距离/km	0.11	>2.0	(1.5,2.0]	(1.0,1.5]	(0.5,1.0]	≤0.5
距工业点距离/km	0.17	>3.5	(3.0,3.5]	(2.5,3.0]	(2.0,2.5]	≤2.0
坡度/(°)	0.08	≤5	(5,12]	(12,21]	(21,30]	>30
海拔/km	0.09	≤1.4	(1.4,2.1]	(2.1,3.0]	(3.0,4.1]	>4.1

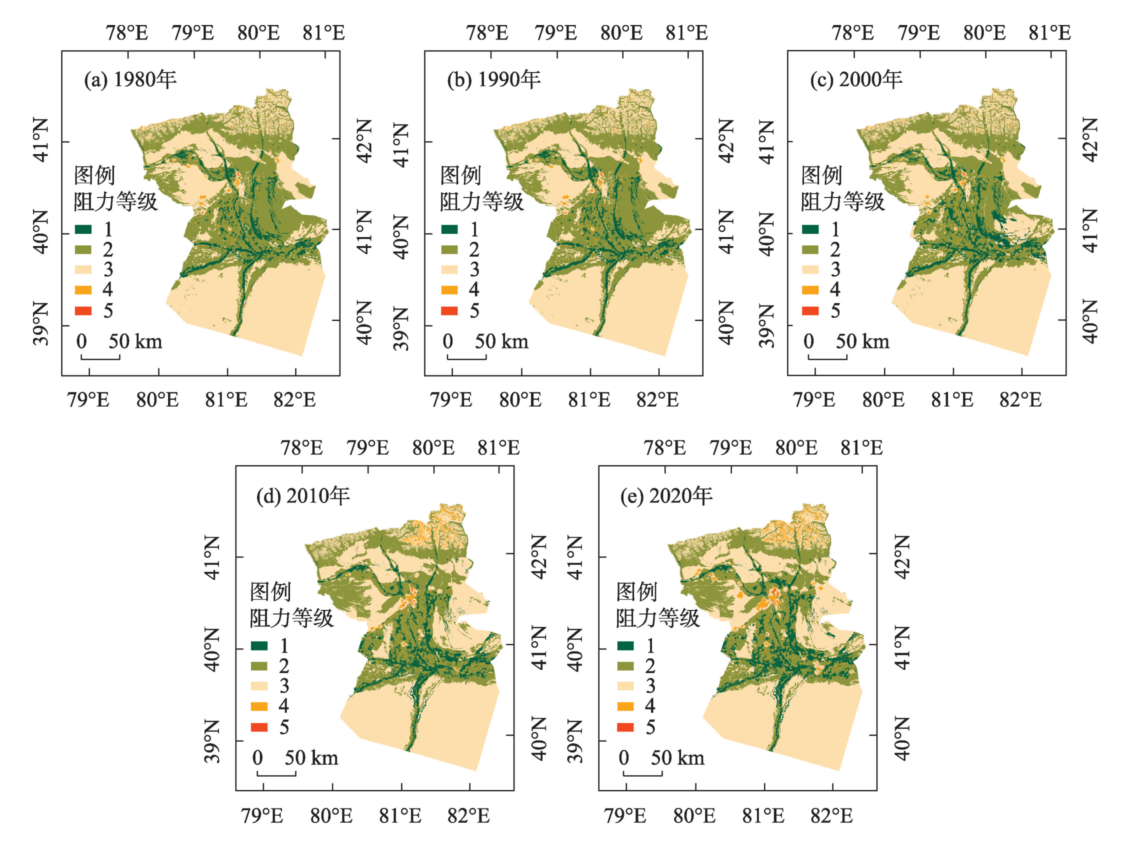


图2 阿克苏河流域生态阻力等级空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of ecological resistance levels in Aksu River Basin

和规模的低阻力值区域。

2.3 生态廊道提取

1980—2020年流域的生态源地和格局发生了较大的变化(图3),生态源地不断向中部和北部集中,中部廊道变得更加密集与复杂。1980年和1990年流域生态廊道较少且无明显变化,2000年,温宿县出现了新的生态源地,生态廊道随之增加。2010年和2020年在乌什县和温宿县均产生了新的较大的生态源地,原有生态源地面积不断增加,形成了较为紧密的生态网络。温宿县产生的生态源地与其他地区明显不同,其源地较为完整没有出现明显的破碎化和较大的孔隙,这与当地高质量的林区有关。在2020年消失了两条较为重要的廊道,分别是阿克苏市与阿瓦提县源地相连接的廊道和温宿县北部源地与南部源地相连接的廊道,消失的区域均在流域经济较为发达的区域,其原因可能是城镇化扩张导致局部区域景观格局和阻力值发生改变,致使生境连通路径发生改变。高速的经济发展使得

地区具备较高水平的生态修复技术与良好的环境投资能力,并形成良性循环。研究期间,流域生态治理工程相继出台,源地的破碎化情况有所好转,并且有计划的形成了新的生态源地。区域生态网络从2000年开始发生显著变化,间接的说明了干旱区生态修复所需时间较长,生态保护工程具有一定的滞后性,需要长期坚持。

2.4 生态夹点与生态障碍点

根据电流强度共识别出12处"夹点"区域(图4)。其中最大的生态"夹点"位于阿克苏市中部,该处景观不算丰富,主要以河道和低覆盖度草地为主,该区域保护的主要途径是对河流进行清淤和治

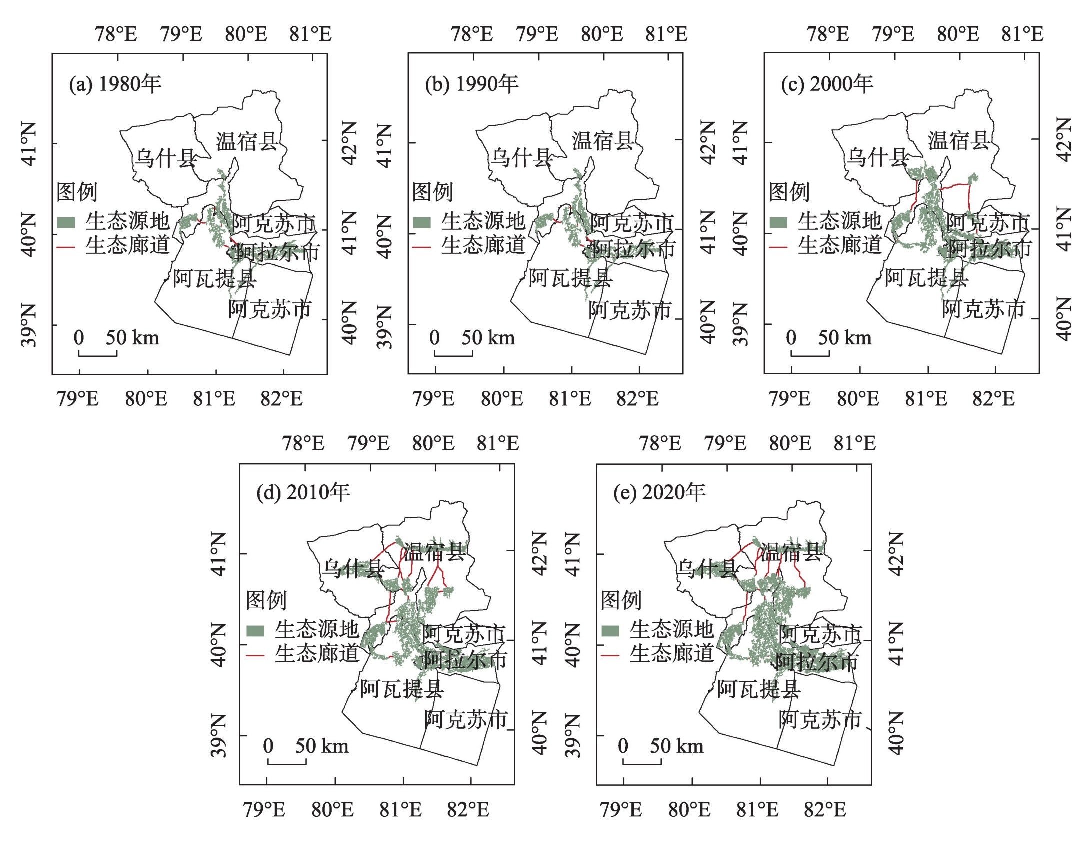


图3 阿克苏河流域生态网络

Fig. 3 Spatial distribution of ecological network in Aksu River Basin

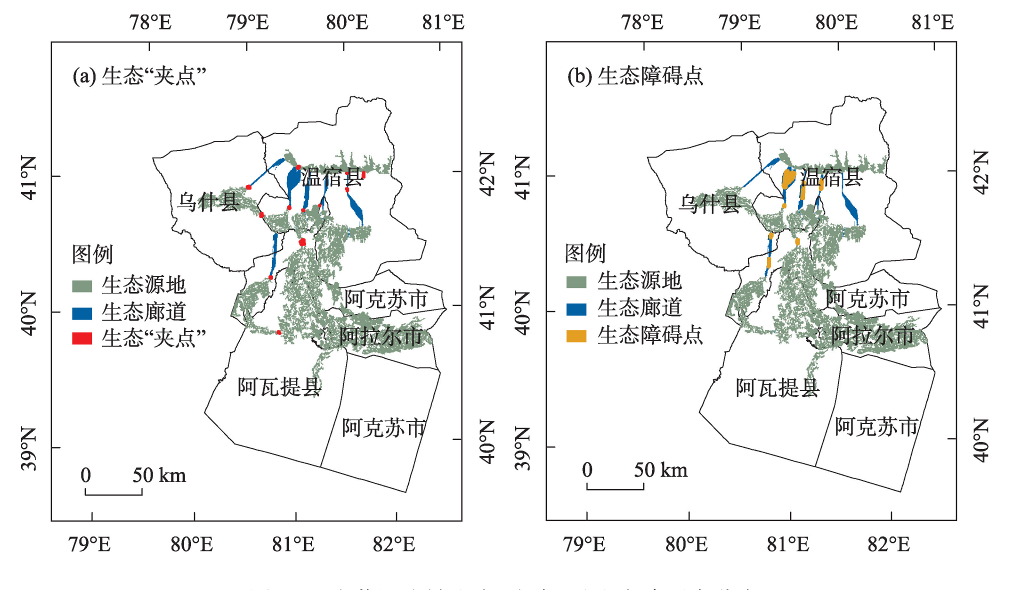


图4 阿克苏河流域生态"夹点"及生态障碍点分布

Fig. 4 The current intensity of ecological pinch points and ecological barrier points in Aksu River Basin

理水质，研究区内阿克苏河穿过大面积的耕地区，利用河水进行灌溉难免会受到一定化肥农药的污染，基于此制定保护水体和改良水质的方案。温宿县北部的生态夹点多位于林地和草地，并且靠近高山水源，应综合考量冰川融水的利用，制定林地草地灌溉方针，平衡草畜制度。流域共识别出7个生态障碍点，其中阿克苏市北部的障碍点分布在农业生产空间，在生态耕地红线的范围内，可适当的进行退耕还林还草，该处的生态障碍点与生态夹点重合，其余的生态障碍点均位于未利用土地，并且与生态夹点互不重合，多是沙地和盐碱地，其整体修复难度较大，修复的重点应着眼于减少沙地的人为扰动和植被的重建，逐步提高植被覆盖度，减轻沙化现象。

2.5 生态安全格局与优化策略

基于2020年生态源地和生态廊道构建阿克苏河流域生态安全格局。温宿县中部和乌什县北部生态源地面积较大，生态环境较好，得益于研究区北部的林区和高山融水，对阿克苏河流域生态网络的构建和区域气候的改善起到了重要作用。但乌什县生态网络较为稀疏，区域连通性较差，生态源地间跨度较大，这与地区海拔较高、地势复杂的情况有关。温宿县南部、阿克苏市北部、阿拉尔市和阿瓦提县的生态网络比较密集，其中阿克苏市和阿拉尔市属于该流域较为发达的城市，城市化和工业发展难免会导致生态源地破碎化和减少，但区域的经济发展使得地区具有较高的生态修复水平和较快的实施能力。研究期间产生了很多新的生态源地，这些源地斑块辐射出新的生态廊道，加强了局部生态网络的链接。城市化进程带来经济发展的同时也对生态网络造成了一定的破坏。障碍点可能会增加生物的迁徙难度，甚至阻隔生物迁徙。在未来的生态发展规划中要重视生态障碍点的修复，在城市发展或者建设路网的时候考虑生物的迁徙途径，做到绿色发展。

3 讨 论

干旱区植被覆盖度普遍较低，并且覆盖情况随季节变化明显，本研究主要构建植被生长季的生态网络。研究区的土地覆被情况较为特殊，未利用地、耕地和草地是区域主要的利用类型，在对不同景观类型赋值时，应在二级分类的基础上，充分考虑景观类型的作用。区域草地贫瘠稀疏，二级分类中的低覆盖度草地更是难以作为前景发展和改善区域环境。新疆是耕地资源十分丰富的省份，其耕地面积和质量牵动西北边疆乃至全国的粮食安全，由于其地理特征和气候情况，改良的土壤多用作耕地。地区着重进行土地整治建设高标准农田，对区域生态环境和经济发展均起到了重要作用，耕地的土壤营养结构优于低覆盖度草地，在作物生长季其产生的生态环境价值也远高于低覆盖度草地，因此，在进行MSPA景观类型分类的时候，将低覆盖度草地纳入背景值，耕地纳入前景值。

流域生态源地的产生和生态廊道的构建均是以阿克苏市为中心展开，虽然阿克苏市城镇化程度较高，有较多的高阻力值区，但其依靠自身的经济优势和技术能力，使得生态向好发展，阿克苏河流域已经从原来相对独立的经济发展和生态治理转型为经济生态相结合的绿色发展。本研究仍存在一定的局限性，由于研究区尺度较大，在进行阻力面构建时对海拔进行线性分级，并综合景观类型对阻力面中的地形地貌造成的阻力进行表征，事实上从垂直和水平的地带性分布情况的角度考虑更为科学严谨，在今后的小尺度的研究中可从此角度进行切入。耕地覆被程度随季节变化较为强烈，在生态源地识别和阻力面构建时主要研究的是处于生长季的农作物对于流域生态环境的影响，今后可在时相上进一步深化研究不同生长时期的耕地在景观格局和生态阻力方面发挥的作用。

4 结 论

以干旱区阿克苏河流域为研究区，基于MSPA方法、MCR模型和电路理论等手段，对比分析了不同时期生态源地、生态阻力面和生态廊道的变化，并根据生态"夹点"和生态障碍点提出流域生态修复措施。主要得出如下结论：

（1）1980—2020年阿克苏河流域生态源地面积上升6%，但空间上存在一定程度的破碎化问题，源地主要集中在流域的中部和北部。

（2）流域生态阻力值空间分布差异明显，高阻力值主要分布在阿克苏市城镇建设聚集地和温宿县北部高海拔地区。

（3）1980—2020年新增加6条生态廊道，流域中部形成了密集的生态网络，生态系统更加稳定，生态环境逐渐向好。

（4）2020年阿克苏河流域存在12处生态夹点

和7处生态障碍点,根据所处的不同类型的景观类型进行针对性的生态保护和修复。

参考文献(References):

[1] 许丽婷, 刘海红, 黄丽洁, 等. 2000—2020年汾河流域生态环境与水源涵养时空变化[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 313-325. [Xu Liting, Liu Haihong, Huang Lijie, et al. Spatial and temporal changes of ecological environment and water conservation in Fenhe River Basin from 2000 to 2020[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(2): 313-325.]

[2] Huang Jianping, Yu Haipeng, Dai Aiguo, et al. Drylands face potential threat under 2 °C global warming target[J]. Nature Climate Change, 2017, 7: 417-422.

[3] 王让会, 张卫东, 周丽敏, 等. 气候变化及景观格局与生态安全的耦合关系[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2022, 14(5): 509-515. [Wang Ranghui, Zhang Weidong, Zhou Limin. Coupling relationship between climate change, landscape pattern and ecological security[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition), 2022, 14(5): 509-515.]

[4] 金爱博, 张诗阳, 王向荣. 宁绍平原绿地生态网络时空格局与优化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(11): 1415-1426. [Jin Aibo, Zhang Shiyang, Wang Xiangrong. Spatial-temporal pattern and optimization of the green space ecological networks in the Ningshao Plain[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(11): 1415-1426.]

[5] Dindaroglu T. Determination of ecological networks for vegetation connectivity using GIS & AHP technique in the Mediterranean degraded karst ecosystems[J]. Journal of Arid Environments, 2021, 188: 104385.

[6] Wu Zhenhua, Lei Shaogang, Yan Qingwu, et al. Landscape ecological network construction controlling surface coal mining effect on landscape ecology: A case study of a mining city in semi-arid steppe[J]. Ecological Indicators, 2021, 133: 108403.

[7] 荣月静, 严岩, 王辰星, 等. 基于生态系统服务供需的雄安新区生态网络构建与优化[J]. 生态学报, 2020, 40(20): 7197-7206. [Rong Yuejing, Yan Yan, Wang Chenxing, et al. Construction and optimization of ecological network in Xiong'an New Area based on the supply and demand of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7197-7206.]

[8] Miao Zuohua, Pan Lei, Wang Qiaozhi, et al. Research on urban ecological network under the threat of road networks—A case study of Wuhan[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8(8): 342.

[9] Shi Fangning, Liu Shiliang, Sun Yongxiu, et al. Ecological network construction of the heterogeneous agro-pastoral areas in the upper Yellow River basin[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020, 302(38): 107069.

[10] Tarabon S, Calvet C, Delbar V, et al. Integrating a landscape connectivity approach into mitigation hierarchy planning by anticipating urban dynamics[J]. Landscape and Urban Planning, 2020, 202: 103871.

[11] Almeida M R, Andrello M, Pressey R L, et al. Biologically representative and well-connected marine reserves enhance biodiversity persistence in conservation planning[J]. Conservation Letters, 2018, 11(4): e12439.

[12] Dong Jianquan, Peng Jian, Xu Zihan. Integrating regional and interregional approaches to identify ecological security patterns[J]. Landscape Ecology, 2021, 36: 2151-2164.

[13] 吴茂全, 胡蒙蒙, 汪涛, 等. 基于生态安全格局与多尺度景观连通性的城市生态源地识别[J]. 生态学报, 2019, 39(13): 4720-4731. [Wu Maoquan, Hu Mengmeng, Wang Tao, et al. Recognition of urban ecological source area based on ecological security pattern and multi-scale landscape connectivity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): 4720-4731.]

[14] Regan R S, Juracek K E, Hay L E, et al. The U. S. Geological Survey National Hydrologic Model infrastructure: Rationale, description, and application of a watershed-scale model for the conterminous United States[J]. Environmental Modelling & Software, 2019, 111: 192-203.

[15] Zhu Liangjun, Qin Chengzhi, Zhu Axing. Spatial optimization of watershed best management practice scenarios based on boundary-adaptive configuration units[J]. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 2021, 45(2): 207-227.

[16] Xu Chen, Yang Guishan, Wan Rongrong, et al. Toward ecological function zoning and comparison to the Ecological Redline Policy: A case study in the Poyang Lake Region, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28: 40178-40191.

[17] Peng Jian, Pan Yajing, Liu Yanxu, et al. Linking ecological degradation risk to identify ecological security patterns in a rapidly urbanizing landscape[J]. Habitat International, 2018, 71: 110-124.

[18] Pierre S, Peter V. Morphological segmentation of binary patterns [J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(4): 456-459.

[19] 陈竹安, 马彬彬, 危小建, 等. 基于MSPA和MCR模型的南昌市生态网络构建与优化[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 139-147. [Chen Zhu'an, Ma Binbin, Wei Xiaojian. Construction and optimization of ecological network of Nanchang City based on MSPA and MCR model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41 (6): 139-147.]

[20] 付凤杰, 刘珍环, 刘海. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以贺州市为例[J]. 生态学报, 2021, 41(9): 3406-3414. [Fu Fengjie, Liu Zhenhuai, Liu Hai. Identifying key areas of ecosystem restoration for territorial space based on ecological security pattern: A case study in Hezhou City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(9): 3406-3414.]

[21] 徐新良, 刘纪远, 张树文, 等. 中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC)[DB/OL]. http://www. resdc. cn. [2023-3-25]. [Xu Xinliang, Liu Jiyuan, Zhang Shuwen, et al. Multi-period land use and land cover remote sensing monitoring data set in China[DB/OL]. http://www. resdc. cn. [2023-3-25].]

[22] James D W, Kurt H R, Timothy G W, et al. A national assessment of green infrastructure and change for the conterminous United States using morphological image processing[J]. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4): 186–195.

[23] Zhang Yali, Shen Wenjuan, Li Mingshi, et al. Assessing spatio-temporal changes in forest cover and fragmentation under urban expansion in Nanjing, eastern China, from long-term Landsat observations (1987–2017) [J]. Applied Geography, 2020, 117: 102190.

[24] 吴金华, 刘思雨, 白帅. 基于景观生态安全的神木市生态廊道识别与优化[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1120–1127. [Wu Jinhua, Liu Siyu, Bai Shuai. Identification and optimization of ecological corridors in Shenmu City based on landscape ecological security [J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 1120–1127.]

[25] Mcrae B H, Dickson B G, Keitt T H, et al. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation[J]. Ecology, 2008, 89(10): 2712–2724.

Construction of the ecological network in the Aksu River Basin

SUN Maosen[1], WANG Ranghui[1], NING Husen[2]

(1. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, Jiangsu, China; 2. Institute of Afforestation and Sand Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830063, Xinjiang, China)

Abstract: The Aksu River Basin exhibits a typical oasis-desert pattern and is a significant ecological barrier along the Belt and Road. Rivers are crucial to the stability and development of ecosystems in arid regions. In the 1980s, the ecological environment of the Aksu River Basin faced severe environmental problems. Several ecological restoration projects have been implemented since 1986 to address these issues, resulting in improvements to the ecological environment. In this study, five counties and cities within the Aksu River Basin were selected as the study area to establish an ecological safety network. This network, which is of great research value and significance, was constructed by identifying ecological source areas, building an ecological resistance surface, extracting ecological corridors, and recognizing ecological pinch points and ecological barrier points in the Aksu River Basin. To identify and extract the ecological source areas, a morphological spatial pattern analysis was employed. Based on the physical geography and climate characteristics of the region, seven factors were selected to build an ecological resistance surface. Using the ecological sources and resistance surface as a foundation, the ecological corridors within the basin were identified. Furthermore, the data from five periods (1980, 1990, 2000, 2010, and 2020) were compared and analyzed to reveal changes in the ecological safety network over time. Additionally, an ecological network optimization plan was developed by identifying ecological pinch points and obstacles within the basin as of 2020. The research findings indicated the following: (1) Over the 40-year period, ecological restoration, and afforestation projects positively impacted the ecological environment of the Aksu River Basin. The ecological source area increased by 6%, almost double its previous size. (2) Due to the process of urbanization and industrial development, the resistance value of the river basin generally increased slightly. Areas with high resistance values were evident around towns in the economically developed areas of Aksu City. (3) Ecological corridors were mainly concentrated in the central and northern parts of the basin, with six new corridors added during the study period, indicating a denser ecological network and a more stable ecosystem than before. (4) The ecological network included 12 pinch points and seven barrier points in 2020. Based on these points, the government could implement ecological restoration to improve the resilience of the ecological network and propose corresponding improvement measures for land cover types. This research can provide a reference for ecological network restoration, key area identification, and land space optimization along the Belt and Road against the background of dual carbon. Furthermore, this study provides new inspiration for green development in arid basins.

Keywords: ecological networks; ecological sources; ecological corridor; Aksu River Basin